



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



## **DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE  
POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA DE  
CASCA E TORTA DE PINHÃO MANSO**

**ALUNO: EMERSON FERREIRA DA SILVA**

**ORIENTADOR: PROF. DR. BRUNO CHABOLI GAMBARATO**

**VOLTA REDONDA, 05/08/2016**



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



## SUMÁRIO

- **INTRODUÇÃO**
- **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**
  - OS COMPÓSITOS POLIMÉRICOS
  - POLIETILENO (PE)
  - POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)
  - FIBRAS NATURAIS E FIBRAS CELULÓSICAS
  - O PINHÃO MANSO (JATROPHA CURCAS L.)

## • MATERIAIS E MÉTODOS

### • MATERIAIS

- PREPARAÇÃO DA BIOMASSA
- PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS
- ANÁLISE DA BIOMASSA
  - DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)
  - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)
  - MICROSCOPIA ÓPTICA (MO) ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)
- ENSAIOS MECÂNICOS
  - TRAÇÃO
  - FLEXÃO
  - IMPACTO

- **RESULTADOS E DISCUSSÕES PARCIAIS**

- ANÁLISE DA BIOMASSA POR DRX
- ENSAIO DE TRAÇÃO
- ENSAIO DE FLEXÃO
- ENSAIO DE IMPACTO
- MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)
- ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

- **CONCLUSÕES PARCIAIS**

## INTRODUÇÃO

A **SUBSTITUIÇÃO** DAS **FIBRAS SINTÉTICAS** POR **FIBRAS VEGETAIS** É UMA ALTERNATIVA MUITO **INTERESSANTE** QUANDO SE PRETENDE **TROCAR** UM **RECURSO NÃO-RENOVÁVEL** POR UM **RECURSO RENOVÁVEL**.

COMO **REFORÇO** DE POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS, AS **FIBRAS NATURAIS** CONFEREM UMA **MELHORA** NAS **PROPRIEDADES MECÂNICAS**, EM COMPARAÇÃO AO POLÍMERO PURO, ALÉM DA **REDUÇÃO** DE **CUSTO** DO COMPÓSITO ASSOCIADA À MENOR DENSIDADE DO MATERIAL.

## INTRODUÇÃO

AS SEMENTES DO **PINHÃO MANSO** - EXTRAÇÃO DO **ÓLEO** PARA FINS **COMBUSTÍVEIS** - FONTE DE **ENERGIA** RENOVÁVEL DE **BAIXO CUSTO** - SUBSTITUTO PARA O DIESEL, QUEROSENE E OUTROS COMBUSTÍVEIS.

A PRODUÇÃO DE **BIODIESEL** GERA UM **GRANDE VOLUME DE TORTA** COMO COPRODUTO DA EXTRAÇÃO DO ÓLEO.

PINHÃO MANSO - TORTA **RICA EM PROTEÍNA** - **NÃO PODE SER APROVEITADA** PARA A RAÇÃO ANIMAL - DEVIDO À PRESENÇA DE FATORES **TÓXICOS E ANTINUTRICIONAIS**.

## OBJETIVOS

- PREPARAR COMPÓSITOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSAS DA CASCA DE SEMENTE DO PINHÃO MANSO (*JATROPHA CURCAS*) E DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE REFORÇADOS COM BIOMASSA DA TORTA DE SEMENTES DO PINHÃO MANSO (*JATROPHA CURCAS*),
- CARACTERIZAR SUAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS, MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS.
- COMPARAR O DESEMPENHO MECÂNICO DOS COMPÓSITOS.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### OS COMPÓSITOS

- COMPÓSITO QUALQUER **MATERIAL MULTIFÁSICO** QUE EXIBE UMA PROPORÇÃO SIGNIFICATIVA DAS **PROPRIEDADES** DE AMBAS AS **FASES QUE CONSTITUEM**, DE MODO TAL QUE É OBTIDA UMA **MELHOR COMBINAÇÃO DE PROPRIEDADES**.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### OS COMPÓSITOS

O PAPEL DA MATRIZ É:

- MANTER A ORIENTAÇÃO DAS FIBRAS E SEU ESPAÇAMENTO.
- TRANSMITIR AS FORÇAS DE CISALHAMENTO ENTRE AS CAMADAS DAS FIBRAS (PARA QUE O COMPÓSITO RESISTA A DOBRAS E A TORÇÕES).
- PROTEGÊ-LAS DO AMBIENTE EXTERIOR.

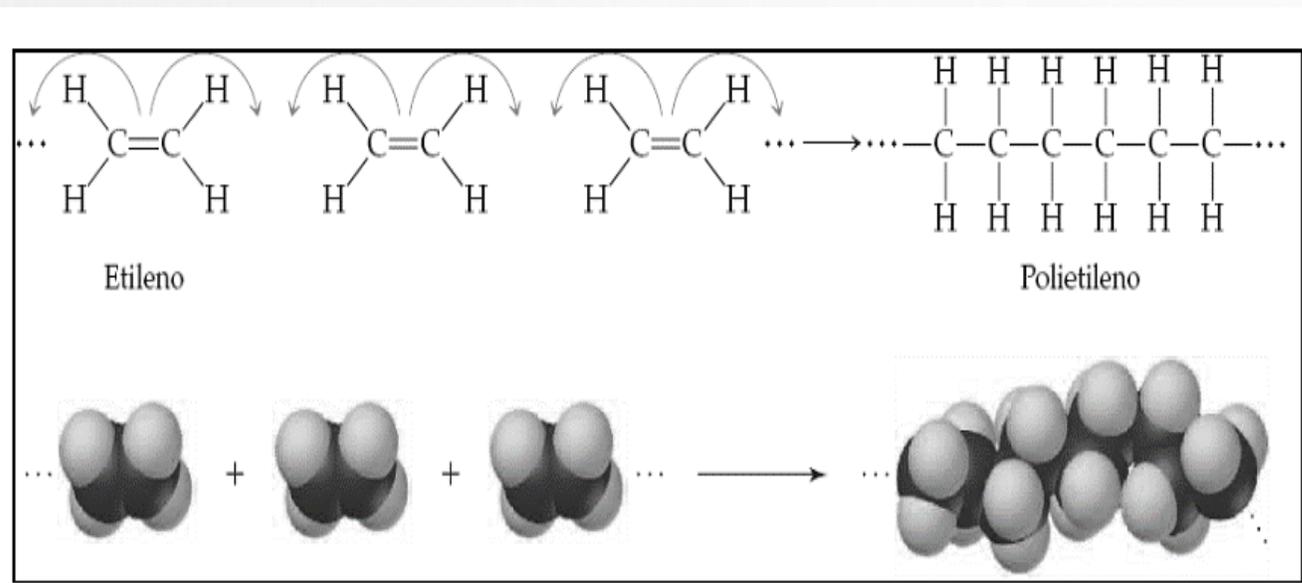
## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### **POLIETILENO (PE)**

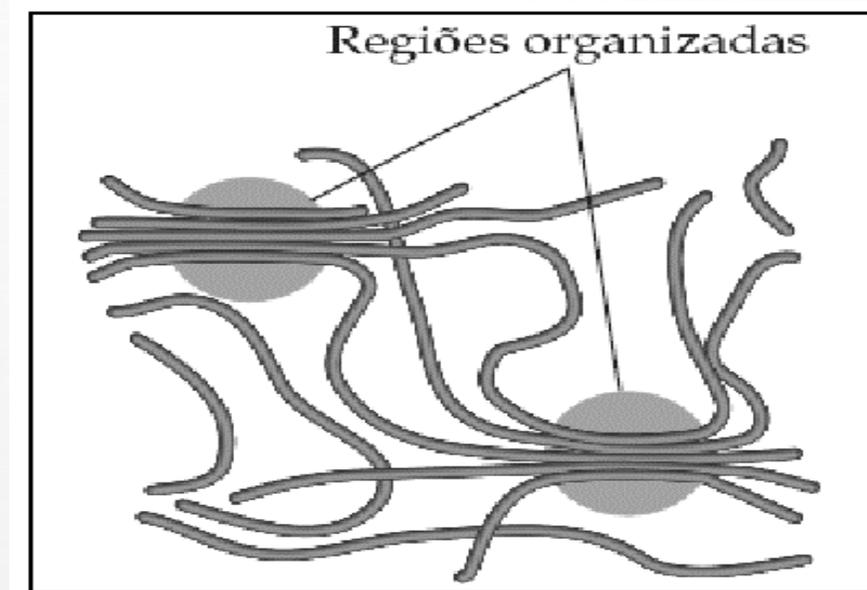
- É UMA **RESINA TERMOPLÁSTICA** AMPLAMENTE UTILIZADA EM TODO O MUNDO, POIS APRESENTA EXCELENTE RESISTÊNCIA QUÍMICA E TAMBÉM **BAIXO CUSTO**, QUANDO COMPARADO A **OUTROS PLÁSTICOS**.
- É FACILMENTE PROCESSADO POR **INJEÇÃO E EXTRUSÃO**.
- O POLIETILENO É LIMITADO APENAS POR APRESENTAR BAIXO MÓDULO DE ELASTICIDADE E BAIXO PONTO DE FUSÃO.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- É UM POLÍMERO **PARCIALMENTE CRISTALINO** E FLEXÍVEL, CUJAS **PROPRIEDADES** SÃO ACENTUADAMENTE INFLUENCIADAS PELA QUANTIDADE RELATIVA DAS **FASES AMORFA E CRISTALINA**.



Representação esquemática da polimerização do polietileno (Adaptado de Brown, 2005)



Morfologia de um polímero semicristalino (BROWN, 2005)

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### **POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)**

- O (PEAD) É O TIPO DE POLIETILENO **MAIS UTILIZADO** NA CONFECÇÃO DE COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS.
- É UM **POLÍMERO ALTAMENTE LINEAR** E SUA ESTRUTURA COMPACTA LHE CONFERE UMA **ALTA DENSIDADE**, É OBTIDO A PARTIR DO **ETILENO** EM UM **PROCESSO CATALÍTICO** DENOMINADO ZIEGLER-NATTA.
- OS MÉTODOS MAIS COMUNS DE PROCESSAR O PEAD SÃO POR MOLDAGEM E INJEÇÃO A SOPRO.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

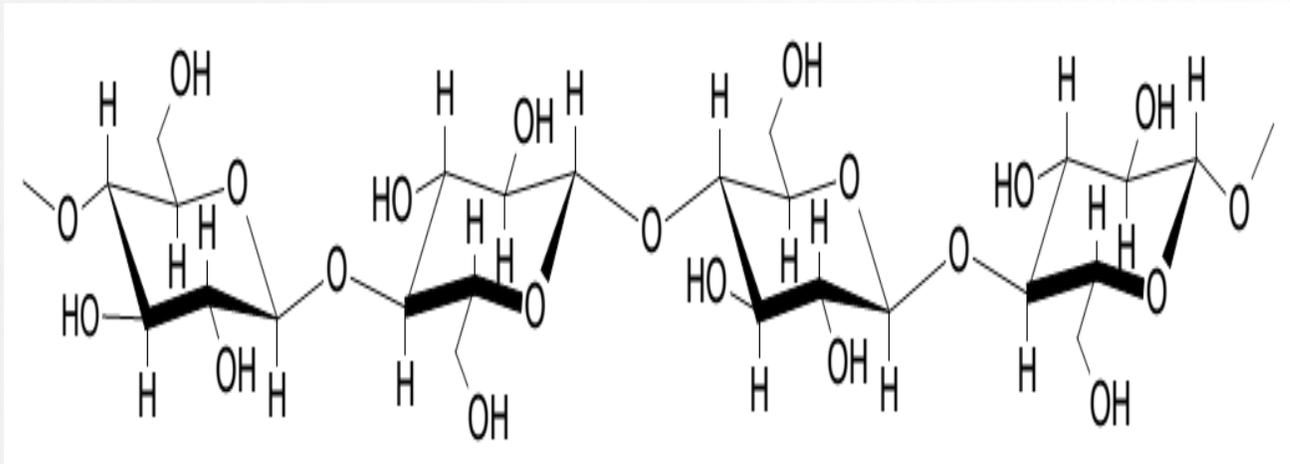
- O MATERIAL ESCOLHIDO COMO MATRIZ PARA ESTE TRABALHO FOI O POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD), DEVIDO SUAS CARACTERÍSTICAS ATRATIVAS, COMO BAIXO CUSTO, FACILIDADE DE PROCESSAMENTO E RECICLAGEM E TAMBÉM POR APRESENTAR BOA RESISTÊNCIA AO IMPACTO.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### FIBRAS CELULÓSICAS

- A **CELULOSE** É O BIOPOLÍMERO MAIS ABUNDANTE NA TERRA.
- É UM **HOMOPOLISSACARÍDEO LINEAR**, QUIMICAMENTE COMPOSTA POR UNIDADES DE **D-GLICOSES** UNIDAS POR **LIGAÇÕES GLICOSÍDICAS  $\beta(1 \rightarrow 4)$** , CUJA UNIDADE REPETITIVA É CONHECIDA COMO CELOBIOSE.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA



Estrutura química da celulose (FERRAZ, 2010)

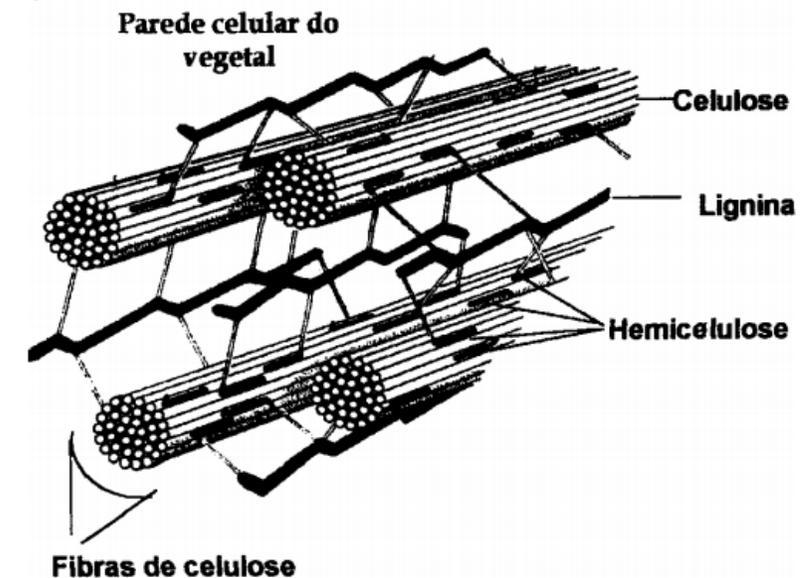


Figura 2.3 - Estrutura simplificada da fibra de materiais lignocelulósicos (SHLESER, 1999).

Estrutura das fibras de materiais celulósicos  
(SILVA, 2006)

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### O PINHÃO MANSO (*JATROPHA CURCAS L.*)

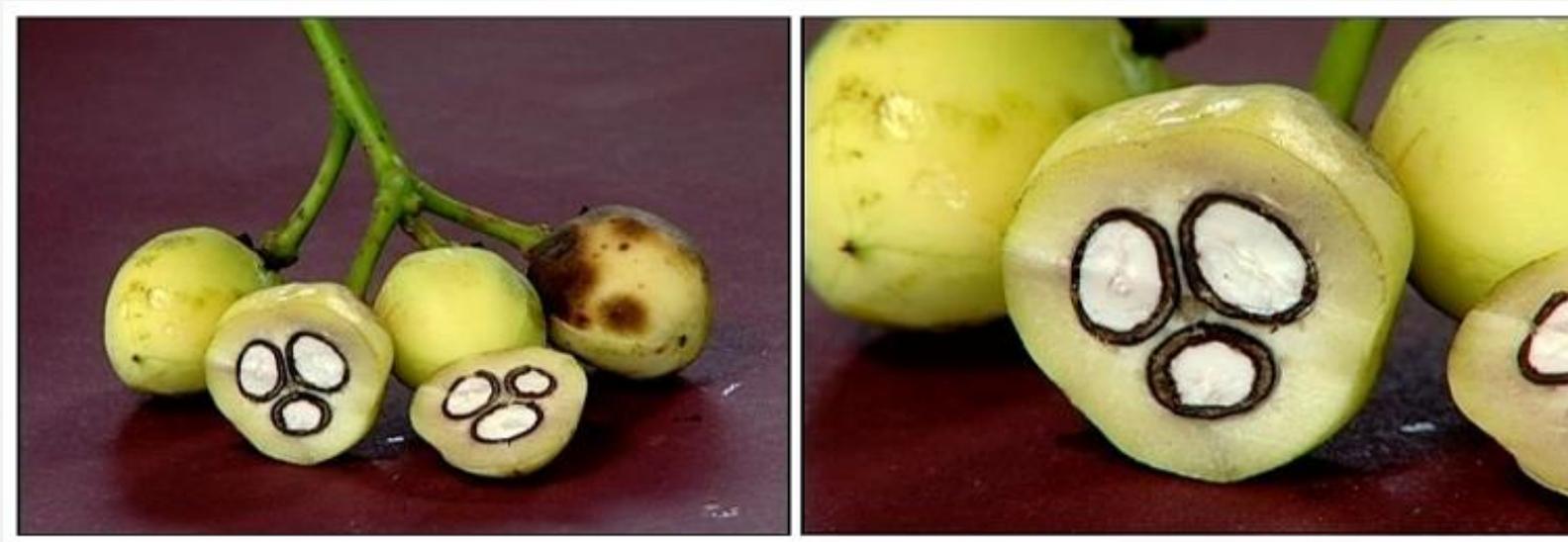
- O **PINHÃO MANSO** É UM ARBUSTO GRANDE, DE **CRESCIMENTO RÁPIDO**, CUJA ALTURA NORMAL É QUATRO OU CINCO METROS PODENDO CHEGAR A **8M** E, EM ALGUNS CASOS, ATINGE **12M** DE ALTURA.



Árvore de pinhão manso (*Jatropha curcas L.*)  
(TOMINAGA *et al*, 2007)

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- OS **FRUTOS** SÃO CONSTITUÍDOS DE **53 A 62% DE SEMENTES** E DE 38 A 47% DE CASCA, PESANDO CADA UM DE 1,53 A 2,85G, CONFORME O TAMANHO DO FRUTO (SATURNINO *ET AL.*, 2005).



Frutos de pinhão manso  
(TOMINAGA *et al*, 2007)

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- A SEMENTE, É RELATIVAMENTE GRANDE, QUANDO MADURA, MEDE DE 1,5 A 2 CM DE COMPRIMENTO E DE 1,0 A 1,3 CM DE LARGURA.



Sementes de pinhão manso  
(TOMINAGA *et al*, 2007)

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- NA **INDUSTRIALIZAÇÃO** DO PINHÃO MANSO OBTÉM-SE, COMO **PRODUTO PRINCIPAL, O ÓLEO** E, COMO **COPRODUTO, A TORTA**.
- PARA A **EXTRAÇÃO** DOS ÓLEOS VEGETAIS, A **PRENSAGEM** É UM MÉTODO COMUMENTE EMPREGADO.
- **VANTAGENS:**
- **OPERAÇÃO SIMPLES;** NÃO É NECESSÁRIO MÃO-DE-OBRA QUALIFICADA; É ADAPTÁVEL A DIVERSOS TIPOS DE OLEAGINOSAS E PODE SER INSTALADO EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS.
- **DESVANTAGENS:**
- DEIXAM UM **RESIDUAL DE ÓLEO** NA TORTA.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

- OUTROS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO:
- SOLVENTE ORGÂNICO,
- FLUIDO SUPERCRÍTICO,
- MISTO, QUE SE REFERE À COMBINAÇÃO DO SISTEMA DE PRENSAGEM COM O SISTEMA DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTE.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- APESAR DO ALTO VALOR NUTRICIONAL DA TORTA, SEU USO PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL AINDA NÃO É POSSÍVEL DEVIDO À SUA TOXICIDADE.

## MATERIAIS E MÉTODOS

- A RESINA HC7260LS-L FABRICADA PELA EMPRESA BRASKEM, É UM POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE DESENVOLVIDO PARA O SEGMENTO DE INJEÇÃO.

Propriedades Típicas	Índice de Fluidez (190°C /2,16kg)	Densidade	Tensão de Escoamento <sup>(a)</sup>	Tensão de Ruptura <sup>(a)</sup>	Módulo de Flexão <sup>(a)</sup>	Dureza (Shore D) <sup>(a)</sup>	Resistência ao Impacto Izod <sup>(a)</sup>
Método ASTM	D 1238	D 1505 D 792	D 638	D 638	D 790	D2240	D 256
Unidades	g/10min	g/cm <sup>3</sup>	Mpa	MPa	Mpa	–	J/m
Valores	7,2	0,959	29	18	1375	63	35

(a) Corpo de prova moldado por compressão pelo método ASTM D 4703.

## MATERIAIS E MÉTODOS

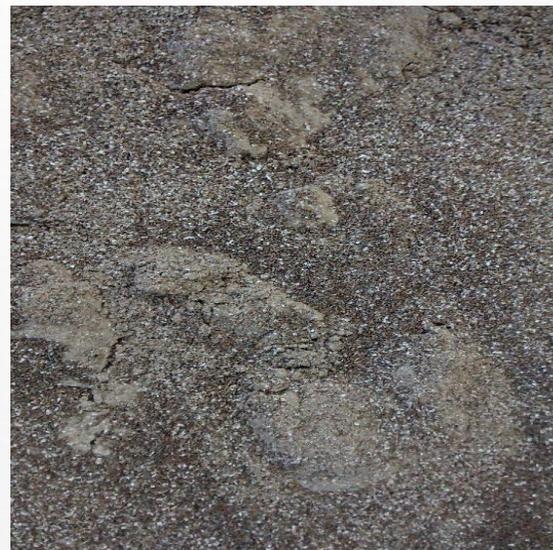
- AS SEMENTES DE PINHÃO MANSO FORAM CEDIDAS PELO INSTITUTO FEDERAL DO RIO DE JANEIRO - IFRJ - CAMPUS NILO PEÇANHA (CANP-IFRJ) EM PINHEIRAL. – R.J.



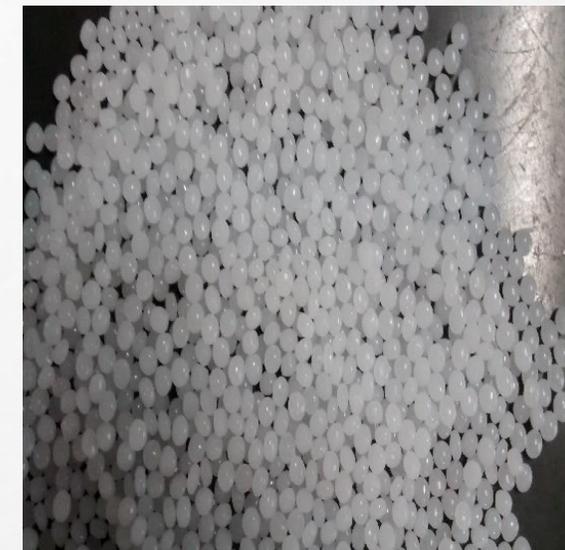
Sementes de pinhão manso  
FONTE: o Autor, 2016



Casca de pinhão manso  
moída  
FONTE: o Autor, 2016



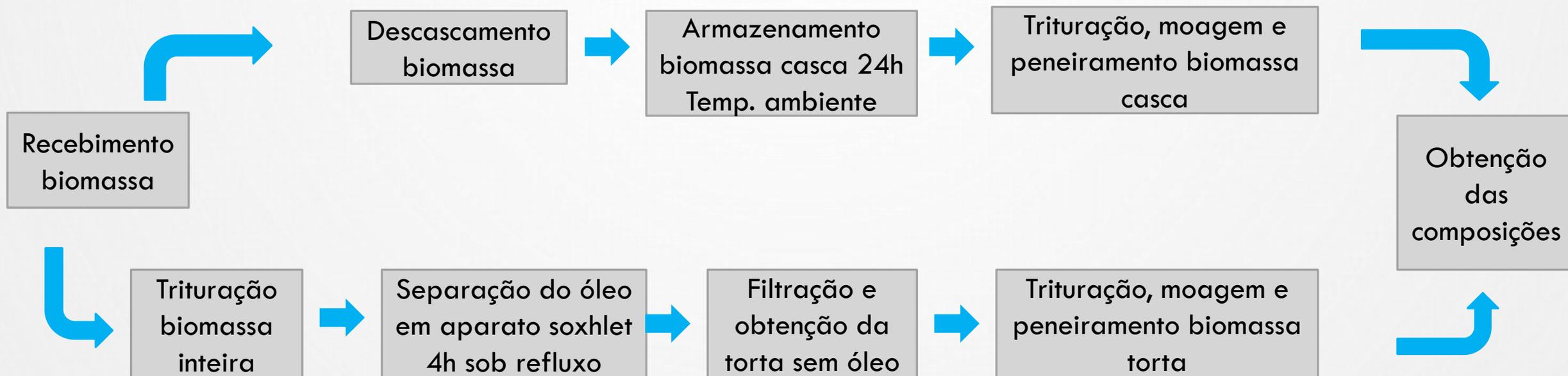
Torta de pinhão manso  
moída  
FONTE: o Autor, 2016



Pellets de resina PEAD  
FONTE: o Autor, 2016

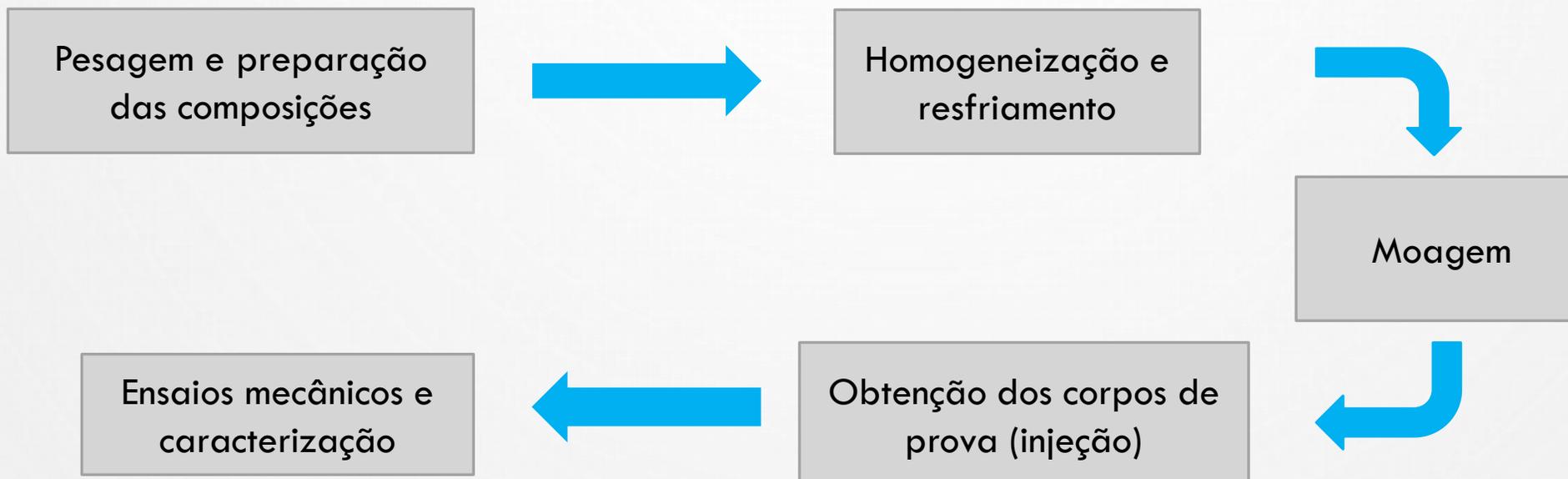
## MATERIAIS E MÉTODOS

### • PREPARAÇÃO DA BIOMASSA



## MATERIAIS E MÉTODOS

### • PREPARAÇÃO DOS COMPÓSITOS



## MATERIAIS E MÉTODOS



Homogeneizador  
DRYSLER  
FONTE: o Autor, 2016



Moinho granulador  
FONTE: o Autor, 2016



Injetora RAY-RAM  
FONTE: o Autor, 2016



Compósitos obtido após  
homogeneizador e moinho  
granulador  
FONTE: o Autor, 2016

## MATERIAIS E MÉTODOS

- AS PORCENTAGENS DOS COMPÓSITOS OBTIDOS ESTÃO RELACIONADOS NA TABELA ABAIXO:

Amostra	Tipo de biomassa	Quantidade de PEAD (% m/m)	Quantidade de biomassa (% m/m)
PEAD	-----	100	0
BC 10%	Casca	90	10
BC 15%	Casca	85	15
BT 10%	Torta	90	10
BT 15%	Torta	85	15

BC (biomassa da casca)

BT (biomassa da torta)

- COM O INTUITO DE AVALIAR SOMENTE A RELAÇÃO ENTRE AS BIOMASSAS E A MATRIZ POLIMÉRICA, NÃO FOI UTILIZADO NENHUM ADITIVO DE COMPATIBILIDADE À COMPOSIÇÃO.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **ANÁLISE DA BIOMASSA**

PARA AVALIAR AS PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E MORFOLÓGICAS DA BIOMASSA DA CASCA E DA TORTA DE PINHÃO MANSO, FORAM UTILIZADAS AS TÉCNICAS DE:

- DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)
- MICROSCOPIA ÓPTICA (MO)
- MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)
- ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

## MATERIAIS E MÉTODOS

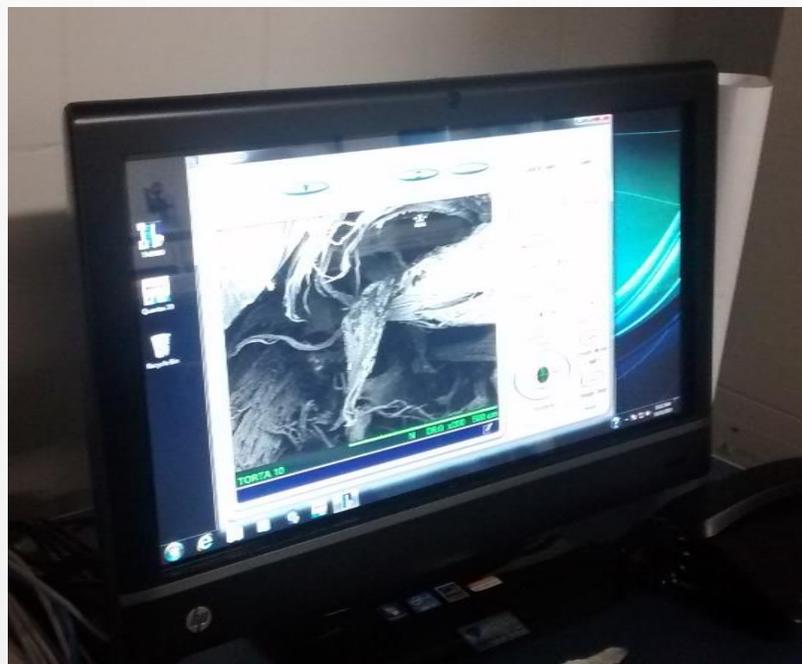
- **DIFRATOMETRIA DE RAIOS X (DRX)**



Difratômetro de Raios X SHIMADZU  
FONTE: o Autor, 2016

## MATERIAIS E MÉTODOS

- **MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**
- AS AMOSTRAS FORAM METALIZADAS NO LABORATÓRIO MULTIUSUÁRIO DE MICROSCOPIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE – UFF CAMPUS VILA.



Microscópio eletrônico de varredura (MEV) TM3000  
FONTE: o Autor, 2016

## MATERIAIS E MÉTODOS

- MICROSCOPIA ÓPTICA (MO)



Microscópio Óptico Metalográfico  
OLIMPUS BX51M  
FONTE: o Autor, 2016

## MATERIAIS E MÉTODOS

- **ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER**
- A ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER FOI UTILIZADA PARA CARACTERIZAR QUALITATIVAMENTE OS GRUPAMENTOS QUÍMICOS PRESENTES NO MATERIAL.



Infravermelho com transformada de Fourier FTIR

FONTE: catálogo Perkin Elmer

## MATERIAIS E MÉTODOS

- **ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA) E CALORIMÉTRICA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)**



Termobalança Perkin Elmer modelo STA600  
FONTE: FONTE: o Autor, 2016

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

- **ENSAIOS MECÂNICOS**
- **TRAÇÃO**
- FORAM AVALIADAS AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, ALONGAMENTO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM TRAÇÃO.
- **FLEXÃO**
- FORAM AVALIADAS TAMBÉM AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE EM FLEXÃO.
- **IMPACTO**
- FORAM AVALIADAS TAMBÉM AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESISTÊNCIA AO IMPACTO.

## MATERIAIS E MÉTODOS



Máquina universal EMIC  
1000 ensaio de tração  
FONTE: o Autor, 2016



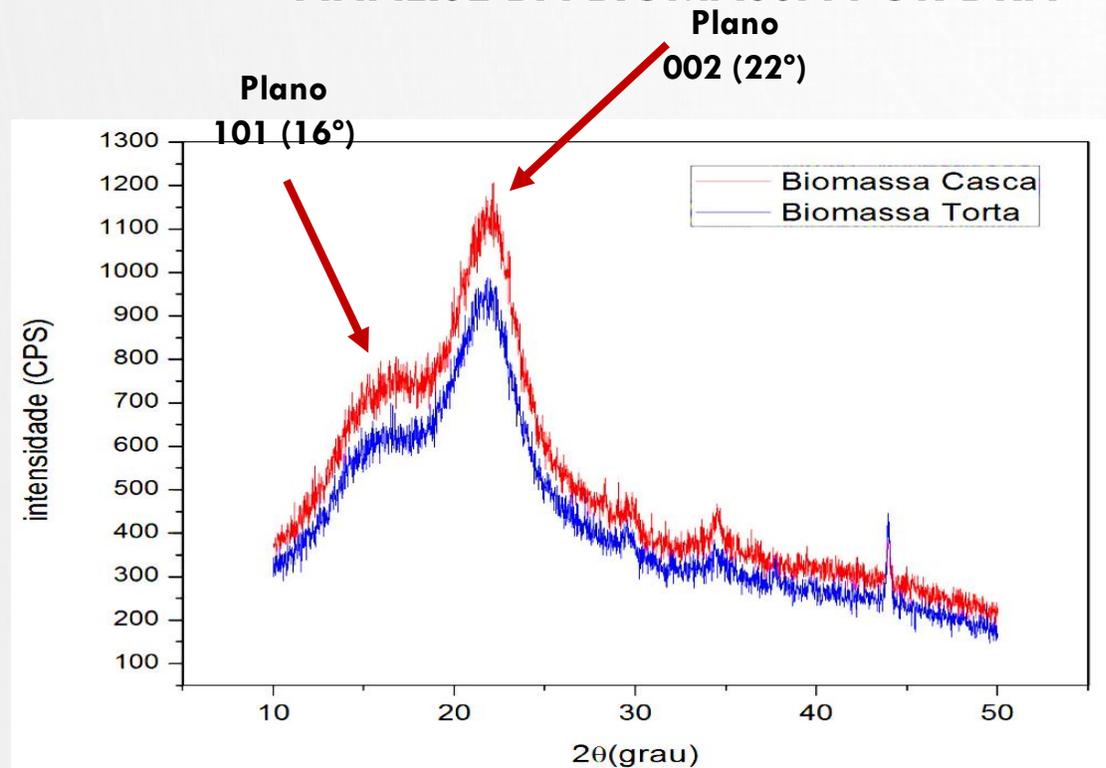
Máquina universal EMIC  
1000 ensaio de flexão  
FONTE: o Autor, 2016



Máquina Wolfgang Ohst Rathenow  
impacto tipo Charpy  
FONTE: o Autor, 2016

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### • ANÁLISE DA BIOMASSA POR DRX



Difratogramas de Raios X da casca e da torta de pinhão manso

Material	I <sub>16°</sub>	I <sub>22°</sub>	I (cristalinidade)
Biomassa Torta	608	922	0,3405 (34%)
Biomassa Casca	738	1154	0,3604 (36%)

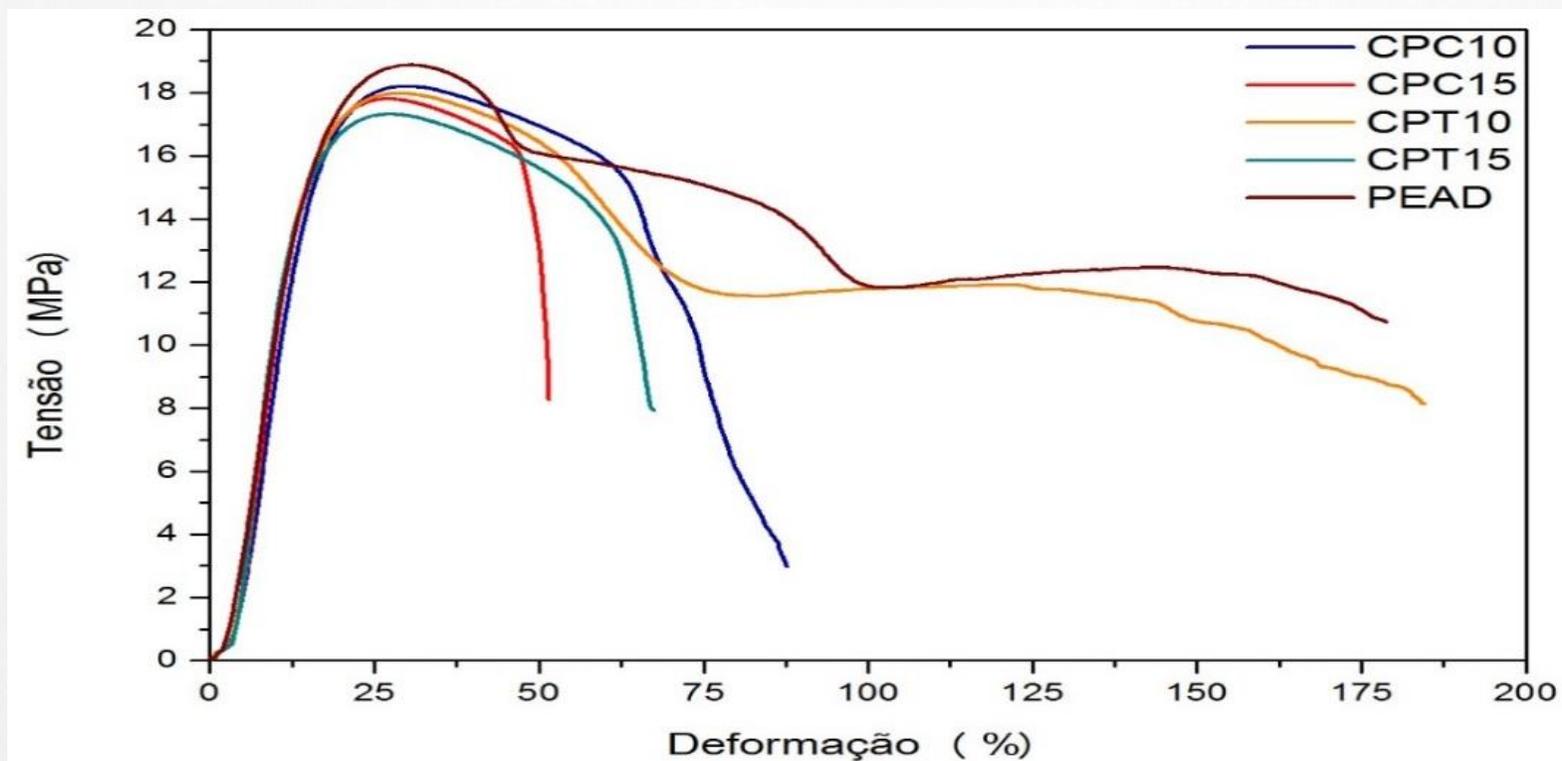
Índices de cristalinidade das biomassas de torta e da casca de pinhão manso

**RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Material	$I_{16^\circ}$	$I_{22^\circ}$	$I_{(cristalinidade)}$ %	Referência
BIOMASSA TORTA	608	922	34	Este trabalho
BIOMASSA CASCA	738	1154	36	Este trabalho
FIBRA DE COCO	500,64	876,05	43	BENINI, 2011
FIBRA DE BAGAÇO DE CANA	1243,21	766,54	58	BENINI, 2011
FIBRA PALMEIRA REAL	615,1	854,9	28	OLIVEIRA, 2015

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### ENSAIOS DE TRAÇÃO



Curvas de tensão x deformação dos corpos de prova dos compósitos de biomassa da casca, de biomassa da torta e PEAD

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Amostras	Alongamento na tensão máxima	Limite Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Young (MPa)
PEAD PURO	31% ± 1,3	18,90 ± 1,2	153,3 ± 23,9
CPC10%	30% ± 0,9	18,22 ± 0,1	165,0 ± 26,4
CPC15%	26% ± 0,8	17,81 ± 0,3	172,7 ± 16,4
CPT10%	28% ± 0,3	17,99 ± 0,1	185,6 ± 8,3
CPT15%	27% ± 0,2	17,33 ± 0,0	180,0 ± 12,7

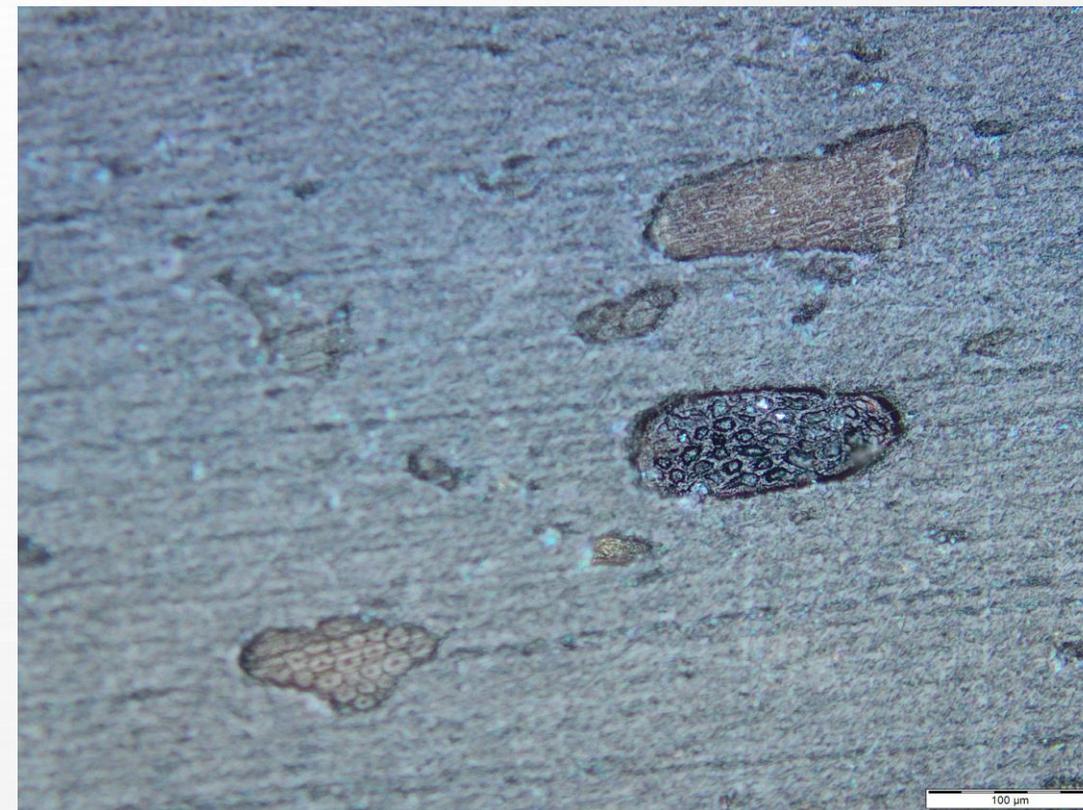
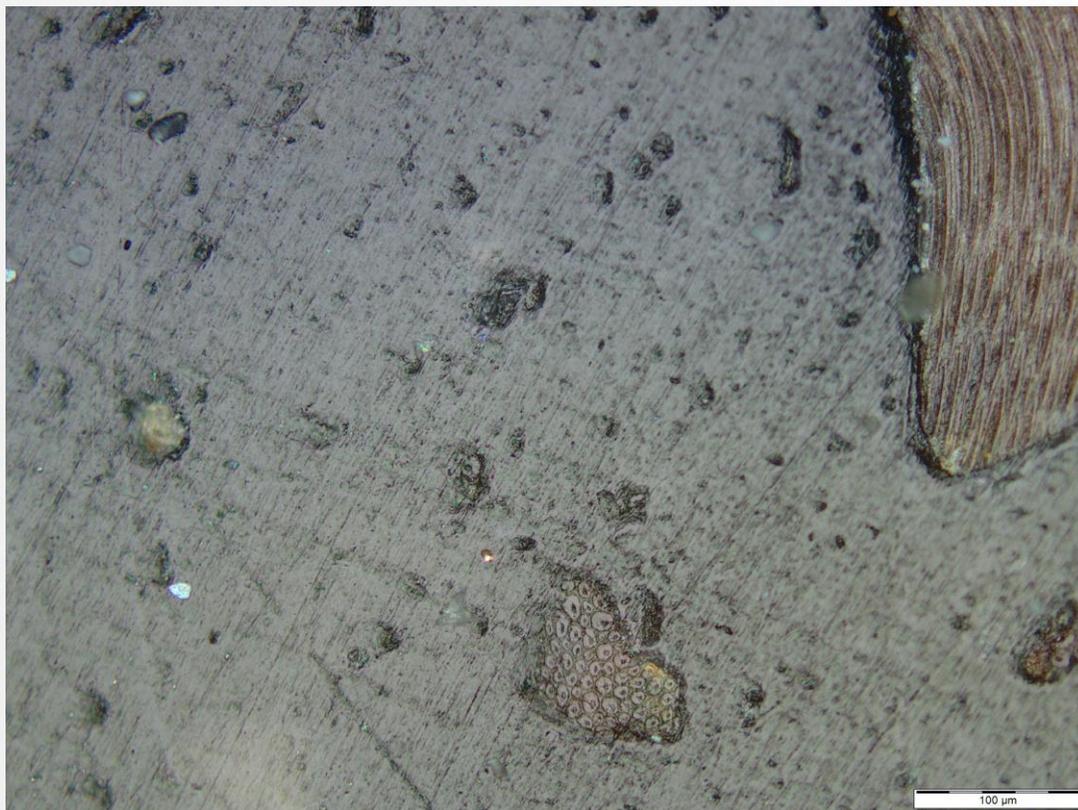
CPC (compósito PEAD/casca); CPT (compósito PEAD/torta)

Valores de alongamento, limite de resistência à tração e módulo de Young

21,07%

17,42%

## RESULTADOS E DISCUSSÕES



Microscopia óptica da CPC10% ampliação 200x

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### • ENSAIO DE FLEXÃO

Amostras	Limite Resistência à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PEAD PURO	24,33 ± 1,8	847,6 ± 103,2
CPC10%	25,26 ± 2,3	977,7 ± 130,3
CPC15%	23,21 ± 1,8	1157,0 ± 104,6
CPT10%	21,13 ± 2,0	941,2 ± 110,3
CPT15%	21,81 ± 1,7	1084,0 ± 84,9

CPC (compósito PEAD/casca); CPT (compósito PEAD/torta).

Valores de limite de resistência à flexão e módulo de elasticidade (ENSAIO DE FLEXÃO)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### • ENSAIO DE IMPACTO

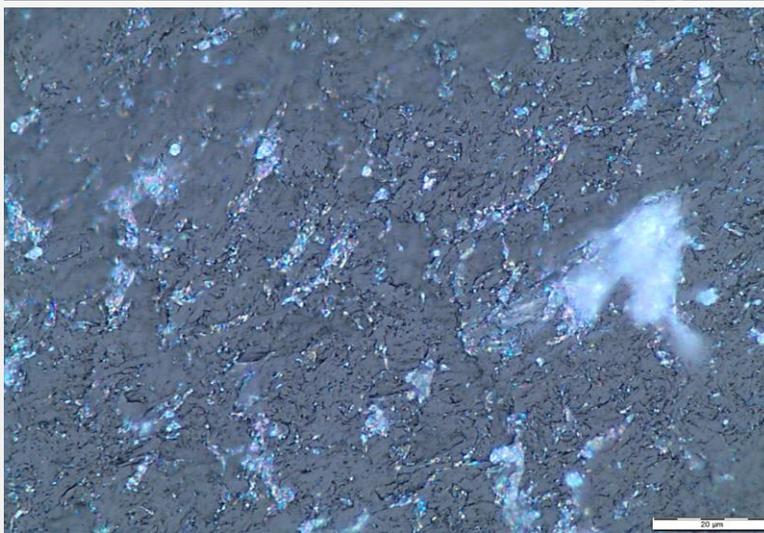
Amostras	Energia absorvida	
	Total (J)	Unitária (J/cm <sup>2</sup> )
PEAD PURO	2,37 ± 0,05	3,25 ± 0,15
CPC10%	1,60 ± 0,03	2,07 ± 0,07
CPC15%	1,10 ± 0,04	1,39 ± 0,39
CPT10%	2,30 ± 0,02	2,92 ± 0,08
CPT15%	1,35 ± 0,04	1,73 ± 0,27

CPC (compósito PEAD/casca); CPT (compósito PEAD/torta).

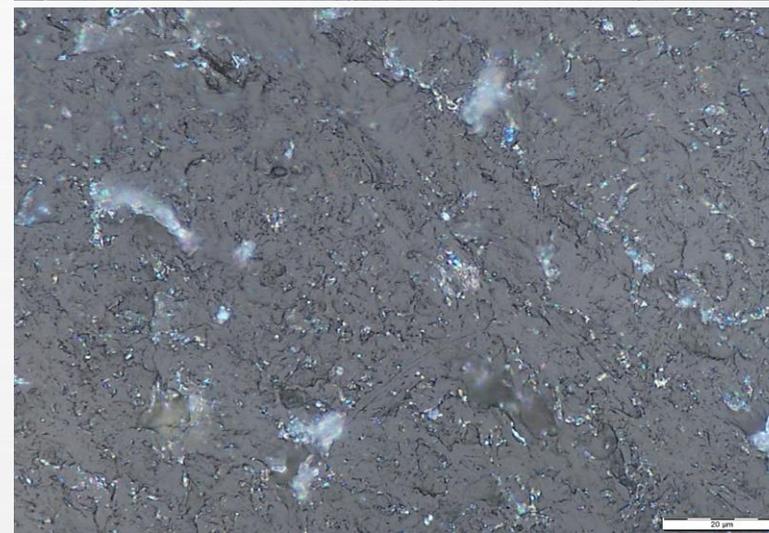
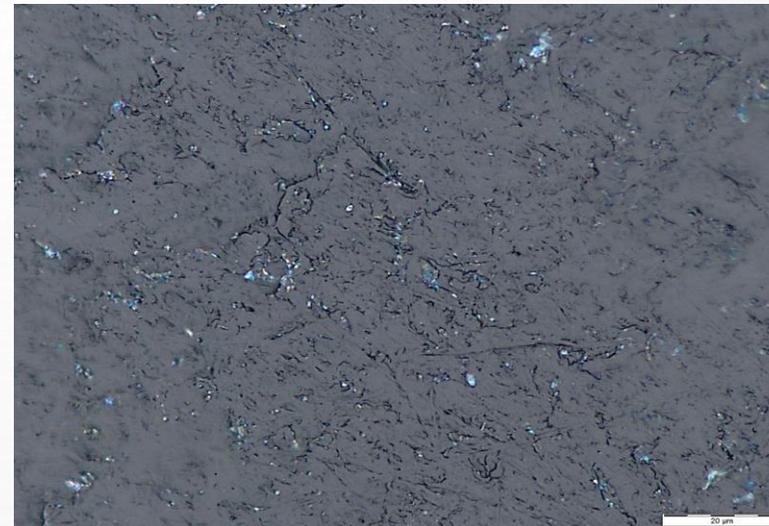
10,15%

Valores de energia absorvida (ENSAIO DE IMPACTO)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES



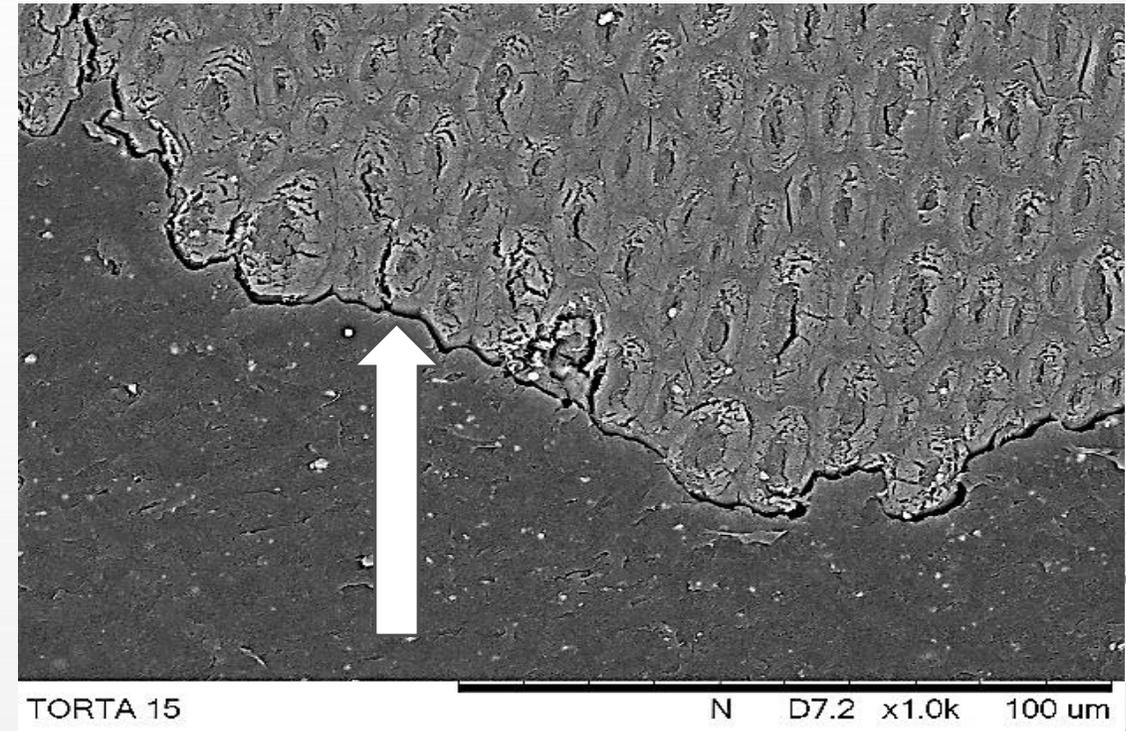
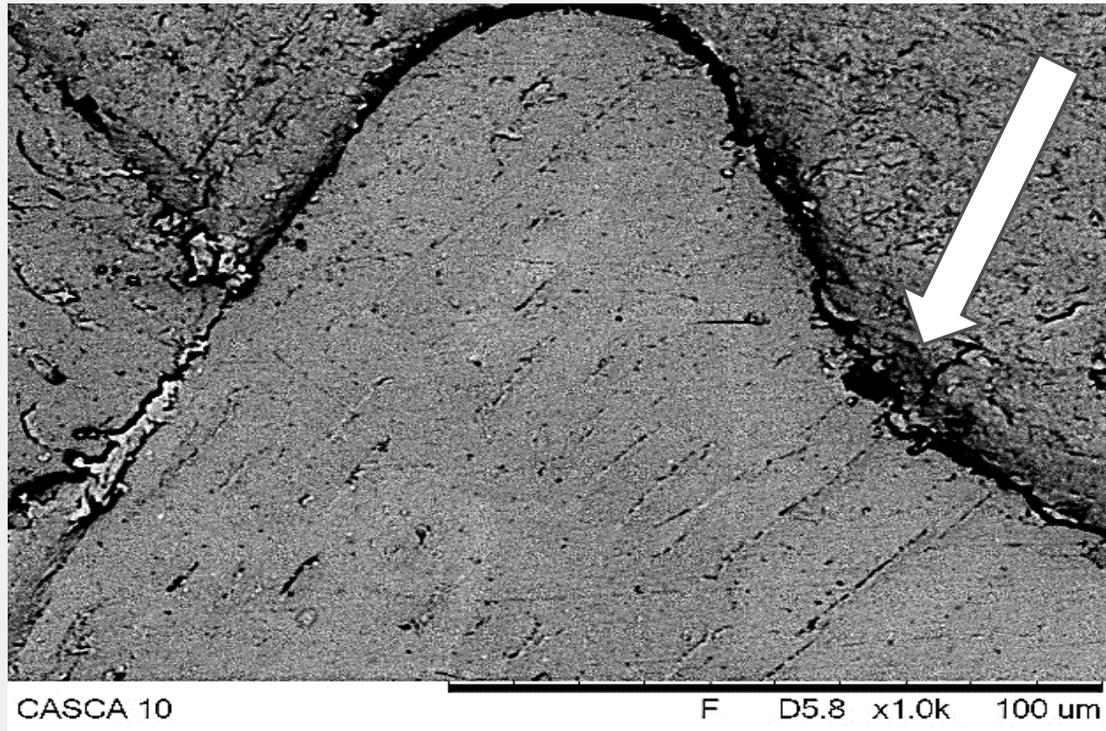
Microscopia óptica  
compósito biomassa  
casca 10% e 15%  
1000X



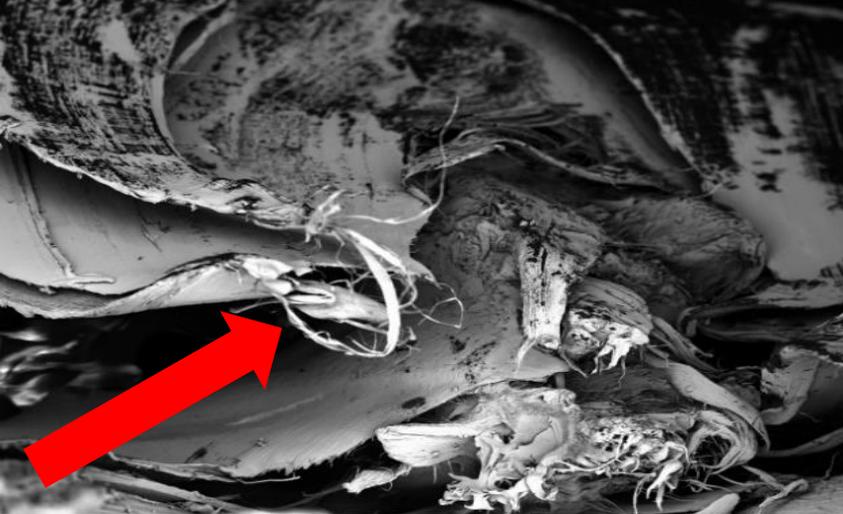
Microscopia óptica  
compósito biomassa  
torta 10% e 15%  
1000X

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

- MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)**

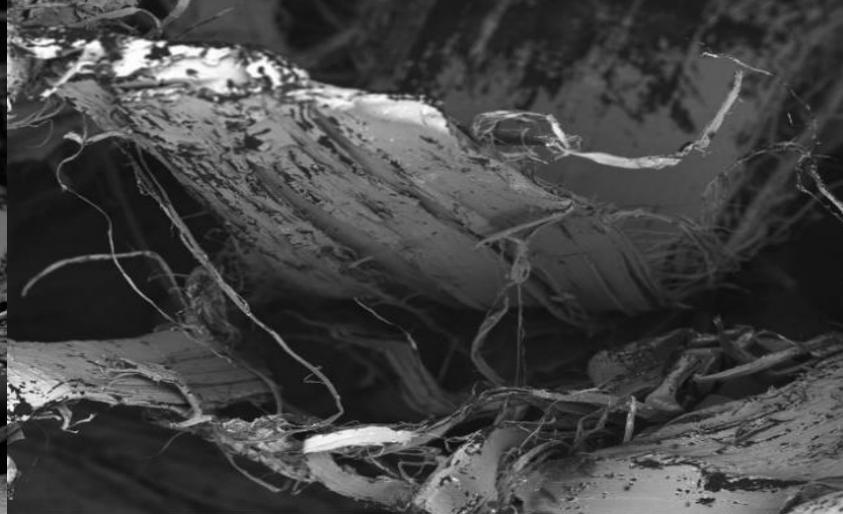


Microscopia compósito biomassa casca 10% e torta 15%  
Ampliação 1000x



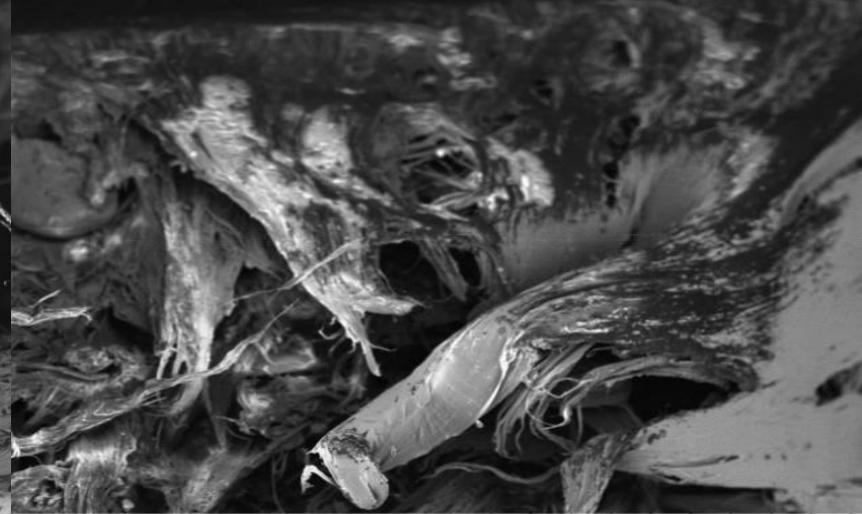
PEAD PURO

F D9.1 x60 1 mm



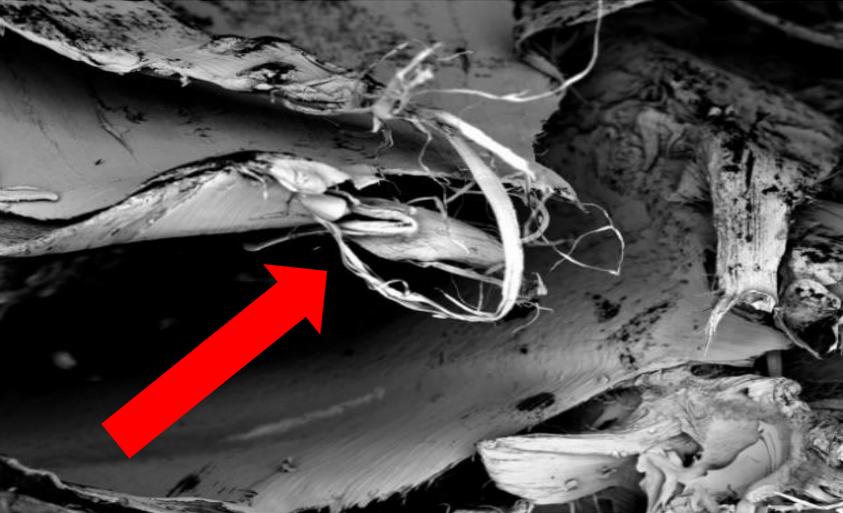
CASCA 10

N D8.1 x80 1 mm



TORTA 10

N D8.5 x80 1 mm



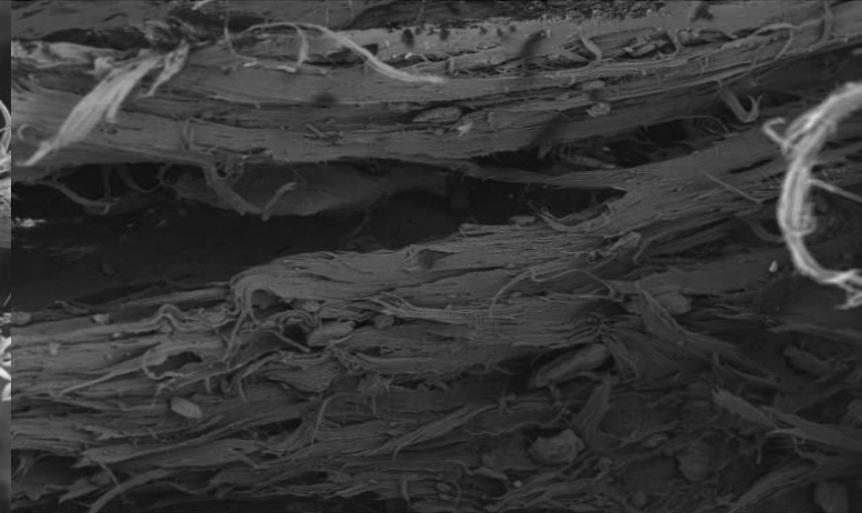
PEAD PURO

F D8.7 x100 1 mm



CASCA 10

F D6.7 x100 1 mm



TORTA 15

N D11.7 x100 1 mm

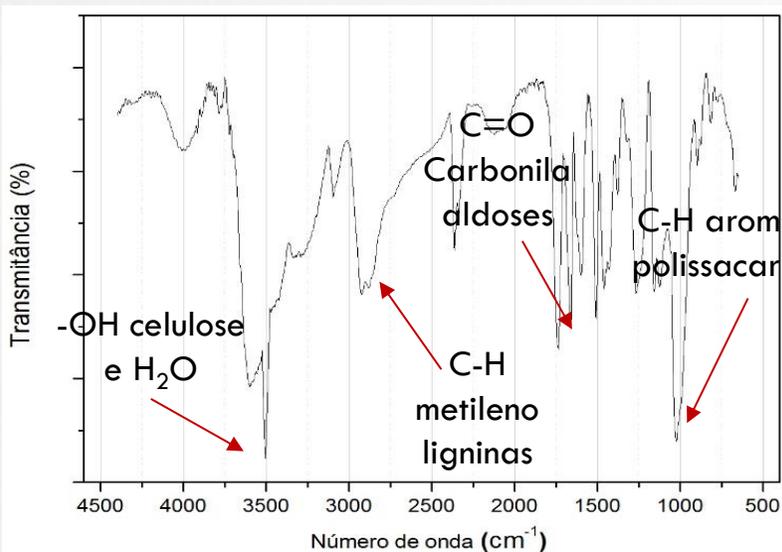
Micrografia PEAD puro  
Ampliação 60 e 100x

Micrografia compósito  
biomassa casca 10%  
Ampliação 80x e 100x

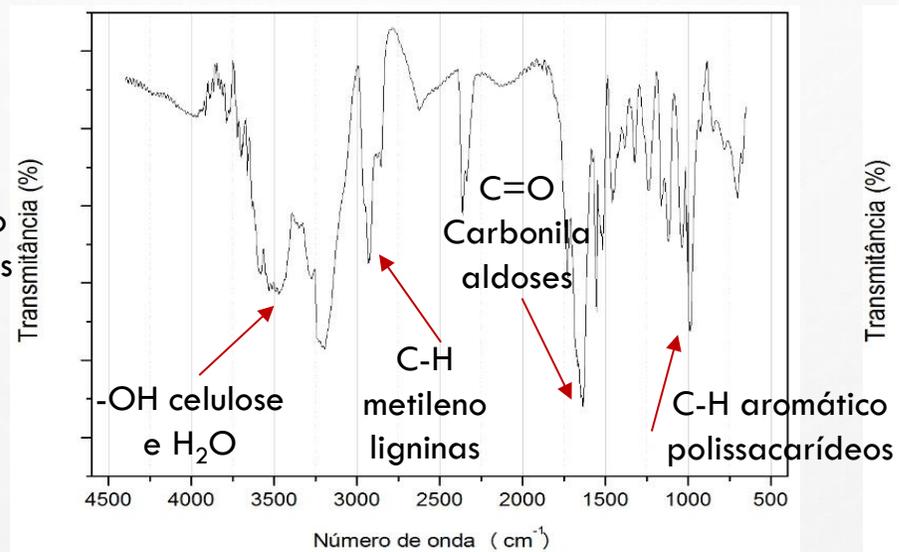
Micrografia compósito  
biomassa torta 15%  
ampliação 80 e 100x

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

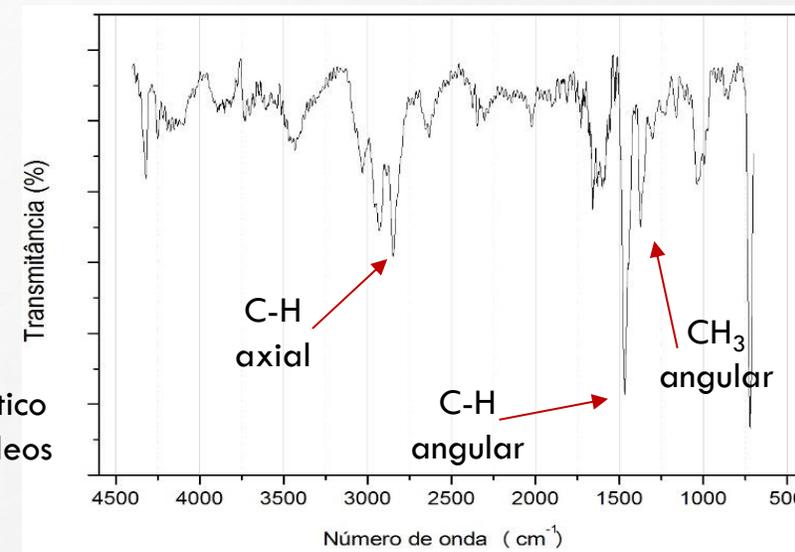
- ESPECTROMETRIA DE INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)**



FTIR casca



FTIR torta



FTIR PEAD

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### • ANÁLISE TERMOGRAVIMETRIC (TGA)

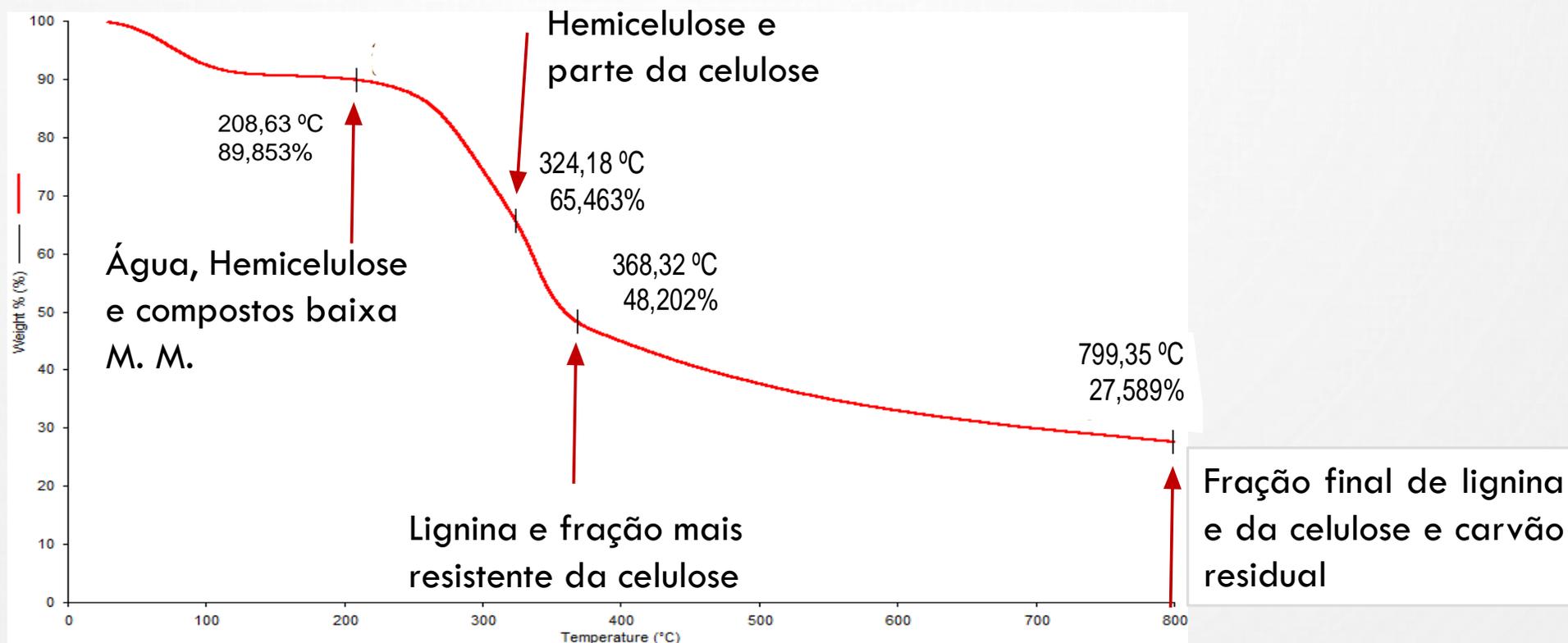


FIGURA 4.11 – TGA casea

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### • ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

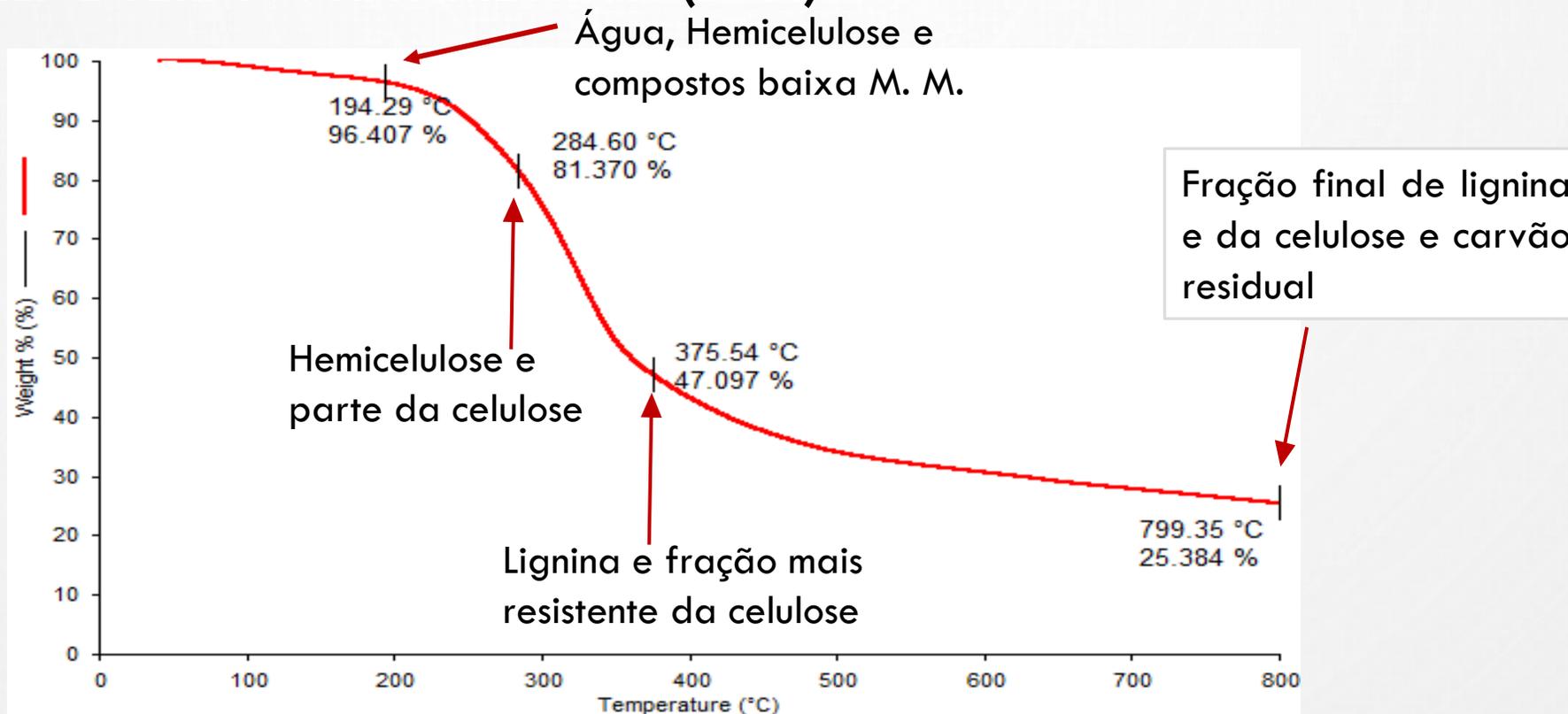


FIGURA 4.12 – TGA torta

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

TABELA 4.6 – Temperatura de início de degradação de algumas biomassas lignocelulósicas obtidas em TGA, adaptado de PAULA, 2011

Fibra	Temperatura (°C)
Casca de pinhão manso	208
Torta de pinhão manso	194
Bagaço de cana	218
Sisal	302
Lufa	250
Sabai	244
Juta	282
Palha de trigo	283
Linho	330
Celulose	322
Lignina	213



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



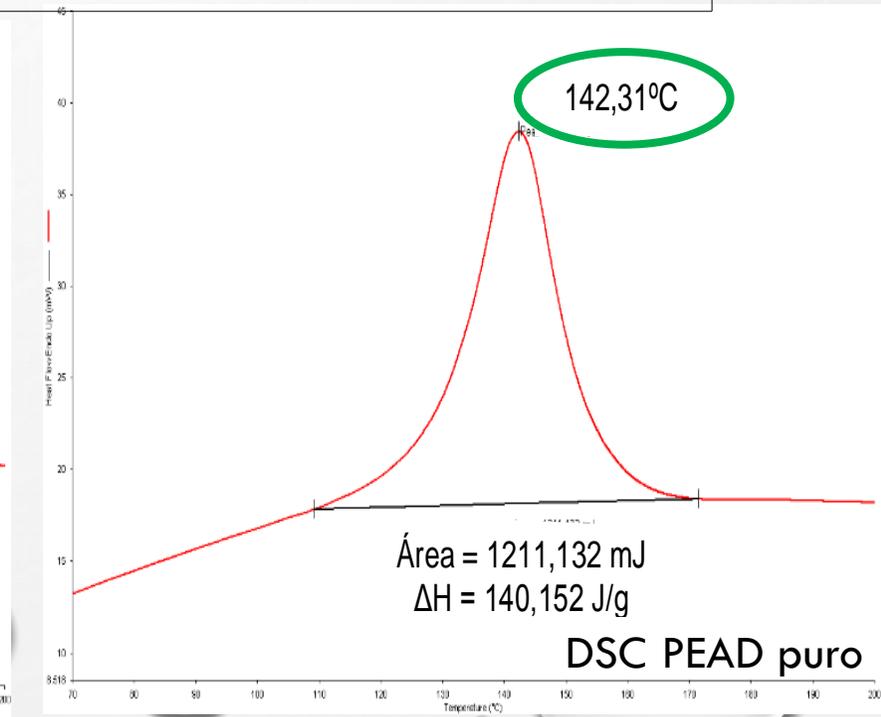
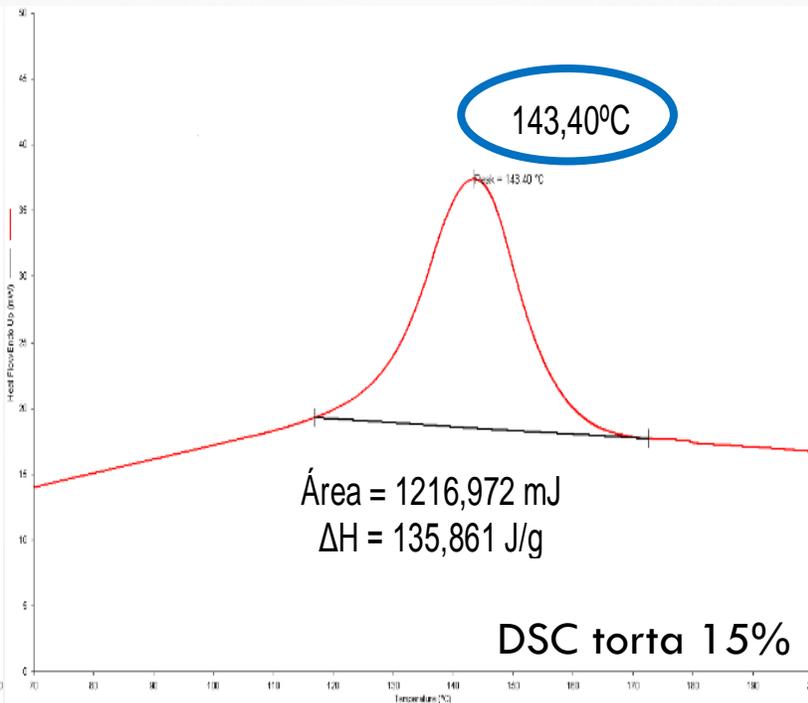
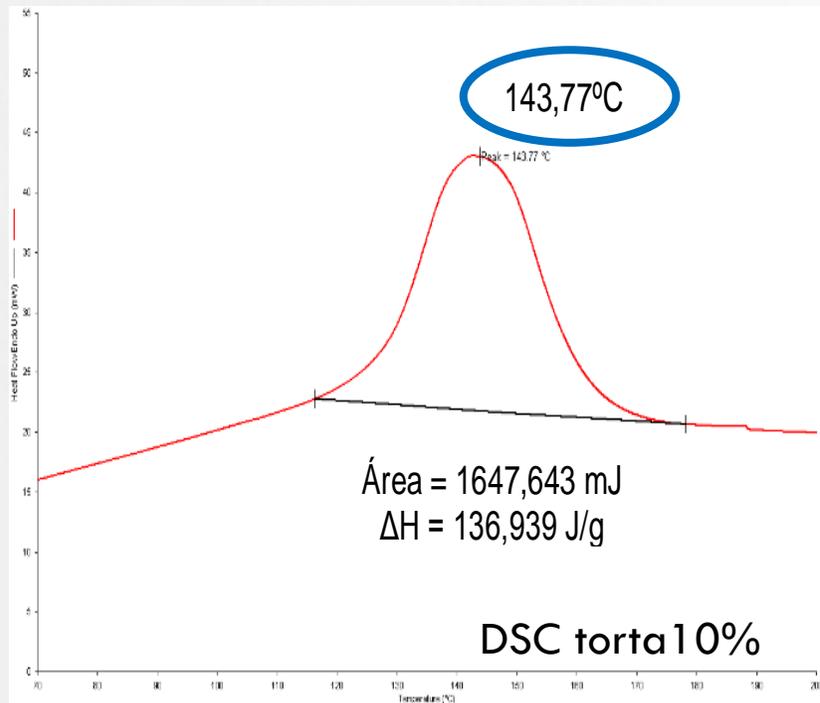
## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

- **CALORIMÉTRICA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)**



DSC casca 10%

DSC casca 15%



## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### • CALORIMÉTRICA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Tabela 4.7 – Entalpia de fusão ( $\Delta H_f$ ), temperatura de fusão ( $T_m$ ) e grau de cristalinidade ( $X_c$ )

Amostra	$\Delta H_f$ (J/g)	$T_m$ (°C)	$X_c$ (%)
PEAD PURO	140,15	142,31	47,83
CPC 10%	142,59	141,08	54,07
CPC 15%	131,70	142,27	52,88
CPT 10%	136,93	143,77	51,92
CPT 15%	135,86	143,40	54,55

14,05%



## CONCLUSÕES

- DOS **DIFRATOGRAMAS DE RAIOS X**, FOI POSSÍVEL CONCLUIR QUE AS BIOMASSAS DA CASCA E DA TORTA DE PINHÃO MANSO APRESENTARAM CARACTERÍSTICAS DE UM **MATERIAL SEMICRISTALINO**.
- DOS **ENSAIOS DE TRAÇÃO**, FOI POSSÍVEL OBSERVAR QUE, COM O **AUMENTO DAS PORCENTAGENS DE BIOMASSA** NA COMPOSIÇÃO, OCORRE UMA **DIMINUIÇÃO DA TENACIDADE** DOS COMPÓSITOS E QUE A INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA COMO REFORÇO **DIMINUIU A RESISTÊNCIA MECÂNICA**, NO ENTANTO **AUMENTOU O MÓDULO DE ELASTICIDADE**, COMO ESPERADO.
- DOS **ENSAIOS DE FLEXÃO** FOI POSSÍVEL CONCLUIR QUE A **INSERÇÃO DAS BIOMASSAS** PROMOVEU UM **AUMENTO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE**, PARA TODOS AS PORCENTAGENS E UMA **REDUÇÃO NO LIMITE DE RESISTÊNCIA**, COM **EXCEÇÃO** PARA O COMPÓSITO **CPC10%**.

## CONCLUSÕES

- DOS ENSAIOS DE IMPACTO MOSTRARAM QUE O AUMENTO NA PORCENTAGEM DE FIBRAS PROMOVEU UMA DIMINUIÇÃO NOS VALORES DE ENERGIA ABSORVIDA NO IMPACTO EM FUNÇÃO DA MAIOR HETEROGENEIDADE DO MATERIAL, COMPORTAMENTO QUE ERA ESPERADO.
- DAS IMAGENS DE MEV, FOI POSSÍVEL VISUALIZAR O COMPORTAMENTO ELÁSTICO DO POLÍMERO PEAD, O MESMO COMPORTAMENTO NÃO PODE SER OBSERVADO NOS COMPÓSITOS ANALISADOS, PODE-SE CONCLUIR ENTÃO QUE COM A AUMENTO DA PORCENTAGEM DE BIOMASSA O RECOBRIMENTO COMPLETO DA SUPERFÍCIE DAS FIBRAS NÃO OCORREU, GERANDO UMA DESCONTINUIDADE NA INTERAÇÃO INTERFACIAL POLÍMERO/CARGA – À QUAL FOI ATRIBUÍDO O MENOR VALOR DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.

## CONCLUSÕES

- O **FTIR** DAS **FIBRAS** REVELOU A PRESENÇA DE **GRUPOS FUNCIONAIS CARACTERÍSTICOS** DOS PRINCIPAIS CONSTITUINTES DAS **BIOMASSAS NATURAIS** (CELULOSE, HEMICELULOSE E LIGNINA). ISSO **CONFIRMA** QUE OS **EVENTOS TÉRMICOS** APRESENTADOS NOS ENSAIOS DE **TGA** E **DSC** SÃO REFERENTES À **DEGRADAÇÃO** DESSES CONSTITUINTES.
- DA **ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA** PODE-SE **CONCLUIR** QUE AS **BIOMASSAS** APRESENTARAM CERTA **ESTABILIDADE TÉRMICA** ATÉ APROXIMADAMENTE **200°C** E, A PARTIR, DE **284°C** PARA A BIOMASSA DA **TORTA** E, **324°C** PARA A BIOMASSA DA **CASCA** O SEU PROCESSO DE **DEGRADAÇÃO** TÉRMICA É **INICIADO**.

## CONCLUSÕES

- OS COMPÓSITOS, ALÉM DE POSSUÍREM **BOAS PROPRIEDADES MECÂNICAS** E POSSIBILITAREM UMA **REDUÇÃO DE ATÉ 15%** NA **UTILIZAÇÃO** DE UM **POLÍMERO DERIVADO DE PETRÓLEO**, A **UTILIZAÇÃO DO PROCESSO DE MOLDAGEM POR INJEÇÃO** FOI INTERESSANTE POIS **TORNOU O PROCESSO VIÁVEL** PARA A SUA **UTILIZAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL**.